

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 07-083756  
 (43) Date of publication of application : 31.03.1995

(51) Int. Cl.

G01J 1/02

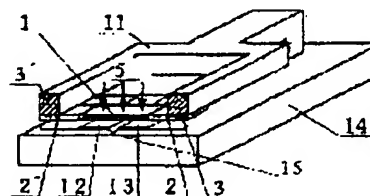
(21) Application number : 05-260346 (71) Applicant : SEMICONDUCTOR RES FOUND  
 (22) Date of filing : 10.09.1993 (72) Inventor : ESASHI MASAKI  
 SHIYOUJI SHIYUUCHI  
 KUREOPATORA KABUTSU

(54) OSCILLATORY TYPE INFRARED SENSOR, OSCILLATORY TYPE INFRARED IMAGER, AND INFRARED-RAY DETECTING METHOD

(57) Abstract:

PURPOSE: To measure room temperatures with high sensitivity in a quick response with infrared rays by using a mechanical vibrator as a detecting element.

CONSTITUTION: Both ends of a thin plate constituting the infrared-ray receiving section 1 of an oscillatory type infrared sensor are fixed to a fixing frame 11 through heat insulating sections 2 and 2' having small heat conductivity so that the whole body (vibrator 15) of the receiving section 1 and insulating sections 2 and 2' can vibrate. When the receiving section 1 is irradiated with infrared rays, the section 1 thermally expands and a compressive stress is generated in the section 1, resulting in a reduction in its oscillation frequency. When the then change of the resonance frequency of the section 1 is represented by  $\Delta f$ , the resonance frequency of the section 1 when the section 1 is irradiated with the infrared rays becomes  $f_0 - \Delta f$ . When such variation of the vibration characteristics is detected, infrared measurement can be performed. When the thickness and width of the section 1 are reduced, the heat capacity of the section 1 can be reduced and, when the thicknesses and widths of the sections 2 are reduced, the heat resistances of the sections 2 and 2' can be increased. Therefore, infrared rays can be measured with high sensitivity in a quick response.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 10.03.2000  
 [Date of sending the examiner's decision of rejection] 05.03.2002  
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
 [Date of final disposal for application]  
 [Patent number]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-83756

(43) 公開日 平成7年(1995)3月31日

(51) IntCl.<sup>4</sup>

G 0 1 J 1/02

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

C 8803-2G

H 8803-2G

Q 8803-2G

審査請求 未請求 請求項の数 3 書面 (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平5-260346

(22) 出願日 平成5年(1993)9月10日

特許法第30条第1項適用申請有り 平成5年6月7日  
社団法人電気学会発行の「The 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators DIGEST OF TECHNICAL PAPERS」に発表

(71) 出願人 000173902

財団法人半導体研究振興会

宮城県仙台市青葉区川内(番地なし)

(72) 発明者 江刺 正喜

宮城県仙台市太白区八木山南1丁目11番9号

(72) 発明者 庄子 習一

宮城県仙台市太白区西多賀2丁目2番35号

(72) 発明者 クレオパトラ カブツ

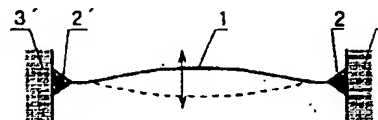
宮城県仙台市青葉区川内亀岡町亀岡住宅第1地区1-41

(54) 【発明の名称】 振動型赤外線センサ、振動型赤外線イメージャ、及び赤外線検出方法

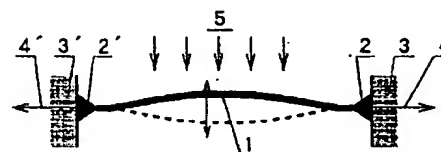
(57) 【要約】

【目的】 赤外線の高感度、高速応答、室温計測を目的とした振動型赤外線センサ、イメージャ、及び赤外線検出方法を提供する。

【構成】 微小な赤外線受光部1、熱絶縁部2、2'および固定部3、3'で構成される機械的振動子を検出素子とする振動型赤外線センサ並びにこれらを多数基板上に配置した赤外線イメージャ、及び赤外線検出方法に関し、小形で高感度、高速で高精度な赤外線計測が室温で行えることを特徴とする。



(a)



(b)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 機械的振動子を検出素子として有することを特徴とした振動型赤外線センサ。

【請求項2】 機械的振動子を検出素子とする振動型赤外線センサを複数個有することを特徴とした振動型赤外線イメージャ。

【請求項3】 熱絶縁された振動子の赤外線の吸収による温度上昇に伴う機械的共振周波数あるいはQ値の変化を振動型赤外線センサにより検出することを特徴とした赤外線検出方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、従来存在しなかった新規な振動型赤外線センサ、振動型赤外線イメージャ及びこの新規な振動型赤外線センサを用いて、赤外線を機械的振動子の振動特性の変化としてとらえる高感度、高速応答でしかも室温で動作する赤外線検出方法に関する。この振動型赤外線センサ及び赤外線検出方法は、現在、広く用いられている赤外線信号送受信器の検出部分や化学、医学で用いられている赤外線分析装置の検出部など従来の赤外線検出部を置き換える形でも利用できる。

## 【0002】

【従来の技術】現在、実用化されている赤外線センサとしては、光電導、光起電力などを用いた量子型センサと、サーミスタ、ボロメータ、焦電、サーモパイルなどを用いた熱型センサの2種類がある。

【0003】量子型のセンサは半導体の電子や正孔が赤外線のエネルギーによって励起され導電率の変化や起電力を生じることを利用するものである。このタイプのセンサは一般に感度が高いが、熱による励起電子や正孔の影響が大きいため高感度を得るには $-100^{\circ}\text{C}$ 以下の極低温に冷却する必要がある。これには専用の冷却装置が必要で、センサシステムの構造が必然的に大型かつ複雑となりしかも高価となる。このため、目的とする小形センサの実現は不可能である。

【0004】熱型の赤外線センサは赤外線の吸収による物質の温度上昇に伴う内部応力の変化を利用したものである。熱型赤外線センサは室温で動作し、簡便で安価であるという利点を持つ反面、感度が低く応答も遅いという欠点を有しており、目的とする高機能センサを実現することは不可能である。

【0005】一方、最近半導体集積回路の微細加工技術を用いてサーミスタ、ボロメータ、焦電、サーモパイルなど熱型の赤外線センサを小形に作り、感度や応答特性の向上をはかった素子も報告されている。しかし、これらのものは動作が不安定で実用化には到っていない。

【0006】量子型、熱型ともに従来のものはアナログ出力であるため、計算機を含む制御システムを考えた場合、A-D変換器などを持つインターフェイス回路が必要であり、これは検出部の構造が大きくなる要因となっ

ていた。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】上述の通り、量子型赤外線センサの高感度で高速応答という特長と熱型の赤外線センサの室温で動作することなどの特長を具備した赤外線センサは実現されていない。また、個々のセンサを一次元あるいは二次元的に配列した赤外線センサの一種である赤外線イメージャを実現する場合、各センサ間の熱絶縁が難しいという欠点もある。

【0008】本発明は、叙上の従来の欠点を除去するものであり、赤外線の高感度、高速応答、室温計測を旨とし、半導体微細加工技術を用いて振動型赤外線センサを提供することと振動型センサを用い、熱型赤外線センサの室温で計測できる特長を活かしつつ、その高感度化と高速応答化を図った赤外線検出方法を提供することにある。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、微細加工技術を用いて製作する機械的振動子を検出素子として用い、赤外線吸収による機械的な振動の変化を検出する方式による振動型赤外線センサ及びこの振動型赤外線センサを用いた赤外線検出方法を実現したところを特徴とする。

【0010】以下、本発明を図面を参照して詳細に説明する。図1(a)、(b)は、本発明の原理を説明するための概念図である。この概念図の振動子は単純な梁であり、その両端が固定されている。図1(a)の赤外線の受光部1である梁が光の吸収により熱膨張しようとするが、両端が熱絶縁部2、2'を介して固定部3、3'に固定されているため伸びることができず梁の内部に応力を発生する。この応力は受光部1である梁の軸力4、4'を変化させるため、振動子の共振周波数 $f$ 、 $Q$ 値(尖鋭度)など振動特性を変化させる。例えば赤外線5の照射により受光部1が熱膨張し、受光部1に圧縮応力が生じると共振周波数は減少する。この時の共振周波数の変化を $\Delta f$ とすると赤外線5の照射時の共振周波数は $f_0 - \Delta f$ となる。このように振動特性の変化を検出することにより、赤外線計測を実現するのが本発明における検出方法の特徴である。なお、梁は赤外線5を吸収する構造のものを、受光部1の梁は外部から熱絶縁された構造のものをを用いる。本実施例では両持ち梁の振動子を示したが、赤外線の吸収により機械的振動特性が変化する振動子であれば構造は何でも構わない。

## 【0011】

【作用】図1(a)、(b)に示した赤外線センサの感度は熱絶縁部の熱抵抗に比例し、応答速度は赤外線受光部の振動子の熱容量と熱絶縁部の熱抵抗の積に比例する。マイクロマシーニングにより振動子の構造を小さくし薄くして熱容量を極力少なくし同時に熱絶縁を良くすれば、高感度を実現できしかも応答の速い赤外線センサを実現できる。また、機械的振動特性を利用するため動

3

作が安定である。さらに、周波数出力であることからA-D変換器などを必要とせず計算機とのインターフェイスが簡単である。

【0012】

【実施例】以下、本発明の実施例を示し、より具体的に説明する。図2は振動型赤外線センサの一例の斜視図である。この実施例における振動型赤外線センサは赤外線受光部1、熱絶縁部2、2'、固定枠11、駆動電極12、検出電極13、基板14から構成される。赤外線受光部1である薄板は両端を熱伝導率の小さい熱絶縁部2、2'で固定枠11に固定しており、赤外線受光部1と熱絶縁部2、2'全体が振動する。なお、以下の説明においては赤外線受光部1と熱絶縁部2、2'を総称して振動子15と呼ぶ。このように形成することにより、第1図で説明した軸力変化を検知することにより、赤外線を検知する。

【0013】赤外線5を吸収する赤外線受光部1の厚さを薄く幅を狭く作ることにより熱容量を小さくでき、また、熱絶縁部2、2'の厚さを薄く幅を狭く作ることにより熱抵抗を大きくすることができる。このことにより、高感度でしかも高速応答な赤外線センサを実現できる。

【0014】図2の実施例では、赤外線受光部1にシリコン薄板を用いこの部分にボロンを濃く拡散し、赤外線5の吸収を大きくしている。また、熱絶縁部2、2'にはシリコン酸化膜を固定枠11と基板にはそれぞれシリコンおよびガラスを用いている。引張りの残留応力を持つp<sup>+</sup>シリコンと圧縮の残留応力を持つシリコン酸化膜の組合せにより応力を調整し、受光部1と絶縁部2、2'からなる振動子に弱い引張応力が加わるようにしている。以上説明した実施例における材質、形状は単に一例であって、これらのことは設計的事項であり、振動子は赤外線を吸収し、機械的振動の特性が変化するものであれば構造や材料は何でも構わない。

【0015】機械的振動特性の変化を検出するためには、振動子を振動させてその時の振動特性を計測する必要がある。図2の実施例では、振動子を振動させる方法に静電駆動法を振動特性の検出方法には容量検出法を用いているが、本発明においては駆動方法としては圧電駆動法、熱駆動法など振動子を振動できる方法であれば、また、検出方法としてはピエゾ抵抗検出法、光学的検出法など振動子の振動を検出できるものであれば、従来用いられてきた方法でも何でも構わない。

【0016】図2の基板14の一方の面には、駆動電極12と検出電極13が設けてあり、赤外線受光部1のシリコン薄板自体がその対極となる構造にしてある。実施例では駆動電極12と受光部1の間に印加する交流電圧によって生じる静電引力を用いて振動子を振動させ、受光部1と検出電極13の間の静電容量変化を用いて振動特性を検出している。

4

【0017】基板14に一端だけを固定された固定枠11に振動子を形成することにより、基板14と固定枠11の間の熱膨張係数の違いに起因する熱応力が振動子に伝わらないようにしている。

【0018】このように本発明の振動型赤外線センサは、熱型赤外線センサの利点である室温で動作でき、しかもセンサの熱容量が小さく、熱-振動の変換効率が極端に向上したことにより量子型赤外線センサに相当する感度を併せ持つ特徴を有している。

【0019】図3は図2に示した一例の赤外線センサ16を基板14上に多数配列した赤外線イメージャの一例である。このように配列すれば個々の振動型赤外線センサ16を一画素とした2次元赤外線イメージャとなり、赤外線カメラなどにおける受光素子として使用することができる。これを用いると高感度で安価な赤外線カメラが実現できる。

【0020】図4は図2で説明した本発明の振動型赤外線センサを実装した一実施例である。この例のものは、上部ガラス基板17、シリコン基板18、下部ガラス基板19の3層構造で構成される。一層目の上部ガラス基板17と二層目の下部ガラス基板19はシリコン基板18と張り合わせシリコン基板18に設けられる振動子15を気密封止させるものである。一層目の上部ガラス17基板には、シリコン基板18に設けられる振動子15上に赤外線の照射が必要な部分として赤外線入射口20が設けられる。二層目のシリコン基板18には、中心部に図2に具体例を示した振動子15と寄生容量補償用容量上部電極21が形成される。また、シリコン基板18の周辺部には電流増幅回路22、センサの温度ドリフトを補正するための温度測定用のダイオード25、電流増幅回路のMOSトランジスタゲート端子26、MOSトランジスタドレイン端子27、MOSトランジスタ基板端子28、MOSトランジスタソース端子29、振動子駆動電極入力端子30、寄生容量補償用容量駆動電極入力端子31がそれぞれ独立した島状のシリコンに形成される。三層目の下部ガラス基板19には、振動子の励起電極12と検出電極13及び補償用容量の駆動電極23と検出電極24を形成され、また、電流増幅回路22の各素子とMOSトランジスタゲート端子26、MOSトランジスタドレイン端子27、MOSトランジスタ基板端子28、MOSトランジスタソース端子29をつなぐ金属配線が形成される。各端子のリード線は下部ガラスに形成された貫通穴を通して裏面より引き出すようにしてある。

【0021】この例における振動子は、シリコンとシリコン酸化膜からなる図2で説明した具体例のものを用い、その製作には、高ボロン拡散層を用いた選択エッチング技術によったものである。また、ガラス-シリコンの三層構造の製作は、気密封止が可能な隔極接合技術によった。

【0022】図5は、図4に示した赤外線センサと電流増幅回路を集積化したシステムの一例の電気回路図である。振動子15と駆動電極12、検出電極13をダイオード32とMOSトランジスタ33で構成される電流増幅回路と同じ基板上に集積化して作った。振動子15と検出電極13との間に直流電圧を印加しておく振動子15が振動した時、振動子15と検出電極13との間の容量変化により検出電極側に振動周波数と同じ周波数の微小な交流電流が生じる。図5の電流増幅回路は、この微小電流を増幅するものである。これにより、出力信号が大きくなるため、相対的に雑音の影響が小さくなる。また、振動子と同じ構造の寄生容量補償用容量上部電極21と寄生容量補償用容量検出電極24からなる補償用容量を同じ基板に作る。この補償用容量は振動子が持つ寄生容量と同じ大きさの寄生容量を持っている。駆動電極23を介して補償用容量に振動子に印加するのと逆位相の交流電圧を加えると寄生容量により生じる電流成分を相殺する事ができ、出力電流を相対的に大きくする事ができる。図中26、27、28、29は、MOSトランジスタのゲート、ドレイン、基板、ソースの各端子、30、31はそれぞれ振動子と寄生容量補償用容量の駆動電極入力端子である。

【0023】図6に図4の振動型赤外線センサの測定回路の一例を示す。図5の電流増幅回路を集積化した赤外線センサを図6の波線内に示してある。図6の回路構成により、振動周波数の検出が行える。41は振動子駆動用交流信号入力端子で、42は反転増幅器、43は非反転増幅器である。この入力回路により振動子の入力と逆位相の交流電圧を寄生容量補償用容量に印加することにより、寄生容量に流れる電流の影響を相殺し低減することができ、44は電流電圧変換器で振動子からの信号を増幅する役割を果たす。45は出力端子である。

【0024】第5図に示した赤外線センサを用い黒体表面から発生する赤外線の検出を行ったところ、図7に示すようにエネルギーが $10\mu\text{W}$ の赤外線がセンサに入射した場合、共振周波数の変化 $\Delta f$ は約 $200\text{Hz}$ であった。この結果から、赤外線の入射エネルギー $1\mu\text{W}$ 当たり約 $20\text{Hz}$ の感度が得られた。周波数検出器の分解能を考慮するとこの感度は量子型赤外線センサに匹敵し、本発明の効果を示すものである。

【0025】

【発明の効果】以上詳しく述べたように、本発明の振動型赤外線センサ、振動型赤外線イメージャおよび赤外線検出方法によって、

- ア) 高感度、高速応答が可能である。
- イ) 室温で計測できる。
- ウ) 疑似デジタル出力で計算機とのインターフェースが容易である。
- エ) 平面上に多数並べることにより、赤外線イメージャを実現できる。

などの効果が得られ、医用計測、工業計測などに従来のものと置き換わる形で利用することが可能であり、高精度の赤外線検出が超小形の赤外線センサで実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理を説明するための概念図である。

【図2】本発明の振動型赤外線センサの一実施例で基本構造を示す斜視図である。

【図3】本発明の振動型赤外線イメージャの一具体例の斜視図である。

【図4】本発明の実施例の構造図である。

【図5】第4図の実施例における電流増幅器を集積化したシステムの電気回路図の一例である。

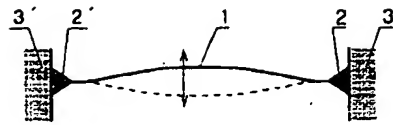
【図6】第5図の実施例における測定に用いた検出回路図の一例である。

【図7】本発明の赤外線センサの感度特性図の一例である。

【符号の説明】

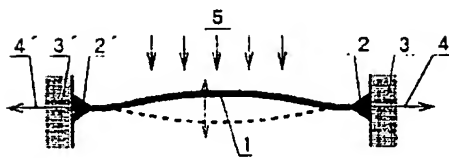
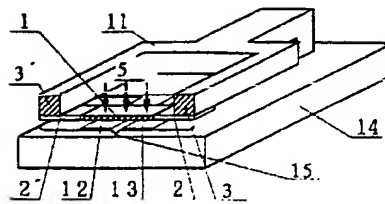
- 1 赤外線受光部
- 2, 2' 熱絶縁部
- 3, 3' 固定部
- 4, 4' 軸力
- 5 赤外線
- 11 固定枠
- 12 振動子駆動電極
- 13 振動子検出電極
- 14 基板
- 15 振動子
- 16 赤外線センサ
- 17 上部ガラス基板
- 18 シリコン基板
- 19 下部ガラス基板
- 20 赤外線入射口
- 21 寄生容量補償用容量上部電極
- 22 電流増幅回路
- 23 寄生容量補償用容量駆動電極
- 24 寄生容量補償用容量検出電極
- 25 温度補償用ダイオード
- 26 MOSトランジスタゲート端子
- 27 MOSトランジスタドレイン端子
- 28 MOSトランジスタ基板端子
- 29 MOSトランジスタソース端子
- 30 振動子駆動電極入力端子
- 31 寄生容量補償用容量駆動電極入力端子
- 32 ダイオード
- 33 MOSトランジスタ
- 41 振動子駆動用交流信号入力端子
- 42 反転増幅器
- 43 非反転増幅器
- 44 電流電圧変換器
- 45 出力端子

【図1】



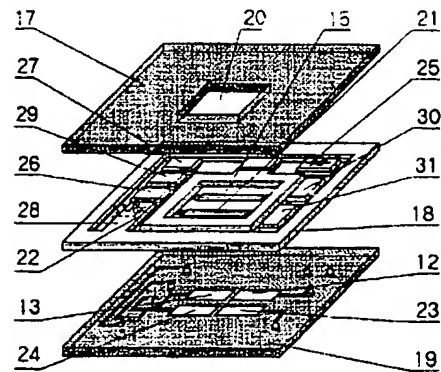
(a)

【図2】

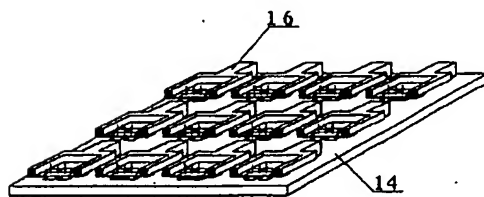


(b)

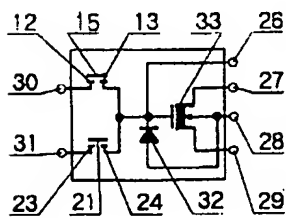
【図4】



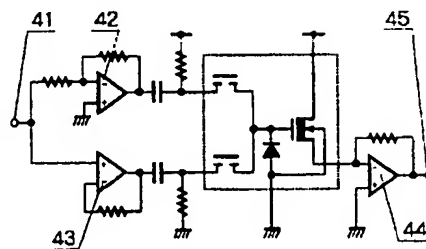
【図3】



【図5】



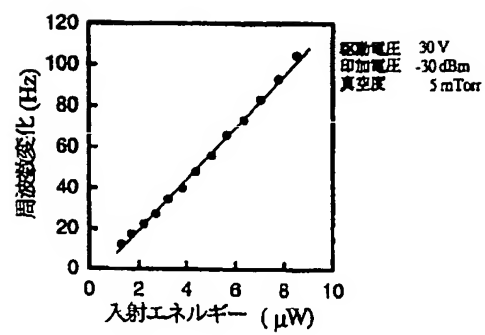
【図6】



(6)

特開平7-83756

【図7】



**(19) JAPANESE PATENT OFFICE (JP)**

(12) Patent Application Laid Open Gazette (A)

(11) Laid Open Patent Application: H7-83756

(43) Date of Publication: 31 March 1995

(51) International Classification<sup>6</sup>

G 01 J 1/02

Class'n Code / Handling Number / F1 / Tech. Notes

C 8803-2G

H 8803-2G

Q 8803-2G

Request for Examination: Not requested

Number of Claims: 3

Number of Pages in the Japanese Text: 6

(21) Application Number: H5-260346

(22) Date of Application: 10 September 1993

Application under terms of Clause 1 Article 30 of the Patent Act; published in "The 7<sup>th</sup> International Conference on Solid-State Sensors and Actuators DIGEST OF TECHNICAL PAPERS", proceedings of the Japan Electrical Society Inc, on 7 June 1993

(71) Applicant: 000173902, Semiconductor Research Foundation, (House number not given) Kawauchi, Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi-ken

(72) Inventor: M. Esaki, 1-11-9 Hakkiyama Minami, Futoshiro-ku, Sendai-shi, Miyagi-ken

(72) Inventor: S. Atsushi, 2-2-35 Nishi-taga, Futoshiro-ku, Sendai-shi, Miyagi-ken

(72) Inventor: K. Kureopatora, 1-1-41 Kameoka Residence, Kameoka-cho, Kawauchi, Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi-ken

(54) (Title of Invention) Oscillating infrared sensor, oscillating infrared imager, and method of infrared detection.

(57) (Abstract)

(Purpose) To provide an oscillating infrared sensor, imager, and method of infrared detection with high



sensitivity and rapid response to infrared light and able to measure at room temperature.

(Structure) An oscillating infrared sensor which uses a mechanical oscillator comprised of a minute infrared receptor 1, thermal insulation 2,2', and fixings 3,3', an infrared imager comprising a number these arrayed on a substrate, and a method of infrared detection, characterized in being compact and capable of carrying out high-precision measurement of infrared light at room temperature with high sensitivity and a rapid response.

(Claims)

(Claim 1) An oscillating infrared sensor characterized in having a mechanical oscillator as a detection element.

(Claim 2) An oscillating infrared imager characterized in having a plurality of oscillating infrared sensors which use a mechanical oscillator as a detection element.

(Claim 3) A method of infrared detection characterized in that variations in the mechanical resonance frequency or Q value that accompany rises in temperature due to the absorption of infrared on a thermally insulated oscillator are detected using an oscillating infrared sensor.

(Detailed Description)

(0001)

(Field of Industrial Use) The invention relates to a hitherto nonexistent and novel oscillating infrared sensor and a method of infrared detection which employs

an oscillating infrared imager and this novel oscillating infrared sensor of high sensitivity and rapid response to measure infrared rays as changes in the oscillation characteristics of a mechanical oscillator, and moreover which operates at room temperature. This oscillating infrared sensor and method of infrared detection can be utilized in a form such that it can replace the conventional detectors currently widely employed in such devices as the detection units of infrared signal transmitter/receivers or infrared analysis equipment used in chemistry and medicine.

(0002)

(Prior Art) There are two types of infrared sensor currently in practical use, quantum sensors which use optical conduction, opto-electromotive force or the like, and thermal sensors which use thermistors, borometers, pyroelectrics, thermopiles or the like.

(0003) Quantum sensors are devices which employ variations in the conductance or the generation of opto-electromotive force in electrons or holes stimulated by infrared energy. The sensitivity of this type of sensor is generally high, but as the excitation of electrons or holes is easily affected by temperature, they must be cooled to very low temperatures of  $-100^{\circ}\text{C}$  or below to obtain high sensitivity. This in turn requires a dedicated cooling unit, with the result that such systems inevitably have a complex and large structure, and are expensive. For this reason it is impossible to have a compact sensor of this type.

(0004) Thermal infrared sensors are devices which employ variations in internal stress with rises in temperature of the material which accompany the absorption of infrared rays. Thermal infrared sensors

operate at room temperature, but despite having the advantage of being simple and cheap, suffer from low sensitivity and slow response times, meaning that it is impossible to realize the desired performance from the sensor.

(0005) There have been recent reports of the application of precision processing technology in semiconductor integrated circuits to produce compact thermal infrared sensors comprising thermistors, and borometers, pyroelectrics, thermopiles or the like which show improvement in sensitivity and response. However these devices have proved unstable in operation and have not yet reached the stage of practical application.

(0006) Both quantum sensors and thermal sensors conventionally have analog outputs, and thus require an interface circuit with an A/D converter where using a control system involving a computer, another factor adversely affecting the size of the detector unit.

(0007)

(Problems to Be Resolved by the Invention) As described above, it has not been possible to realize an infrared sensor having both the high sensitivity and rapid response characteristics of the quantum infrared sensor and the thermal sensor's ability to operate at room temperatures. Furthermore, a practical infrared imager, a type of infrared sensor with a number of sensors laid out in a one- or two-dimensional array, has proved difficult to realize due to problems with thermal insulation between the sensors.

(0008) The invention overcomes the difficulties in prior art described above, and provides an oscillating infrared sensor in which precision semiconductor

processing technology has been applied to deliver high sensitivity and a rapid response to infrared light and the capability of taking measurements at room temperature, and a method of infrared detection which employs oscillating sensors which makes use of the thermal infrared sensor's characteristic of measurement at room temperature and delivers high sensitivity and a rapid response.

(0009)

(Means of Resolving the Difficulties) The invention employs a mechanical oscillator manufactured using precision processing technology as the detection element, and is characterized in providing a practical oscillating infrared sensor which makes use of variations in the mechanical oscillation due to the absorption of infrared light as the method of detection, and a method of infrared detection which employs this oscillating infrared sensor.

(0010) The invention will now be described in detail with reference to the figures. Figs. 1 (a) and (b) are schematic drawings illustrating the principle of the invention. The oscillator in these schematic figures is shown as a simple beam, being fixed at both ends. The beam in Fig. 1 (a), which is infrared receptor 1, tries to expand thermally due to the absorption of the light, but is unable to extend being retained by fixings 3,3' via thermal insulation 2,2', generating stress within the beam. As this stress causes variations in axial forces 4,4' of this beam which is receptor 1, changes occur in the oscillation characteristics of the oscillator such as the resonance frequency  $f_0$  and the Q value (acutance). For example, when receptor 1 expands thermally due to infrared light 5 incident upon it, compression stress occurs in receptor 1 and the frequency of oscillation will drop.

At this time if the variation in the resonance frequency is  $\Delta f$ , the resonance frequency when infrared rays 5 are incident will be  $f_0 - \Delta f$ . The characteristic of the method of detection according to the invention is that infrared measurement can be achieved by detecting variations in the oscillation characteristics in this way. The beam has a structure such that it absorbs infrared light 5, receptor 1 of the beam being externally insulated against heat. In the embodiment, an example of the oscillator is shown where the beam is fixed at both ends, but the structure may be of any type providing that the oscillator is such that the mechanical oscillation characteristics vary with absorption of the infrared light.

(0011)

(Operation) The sensitivity of the infrared sensor shown in Fig. 1 (a), (b) is proportional to the thermal resistance of the insulation, the speed of response being proportional to the heat capacity of the oscillator of the infrared receptor and the thermal resistance of the insulation. Micromachining is employed to ensure that the structure of the oscillator is thin and small and has minimal thermal capacity, and if the thermal insulation is also good a high sensitivity can be obtained, and it is possible to ensure an infrared sensor with a rapid response. Moreover, since mechanical oscillation characteristics are employed the operation is stable. Moreover, as the output is a frequency, no A/D converter or the like is required and the interface with a computer is simple.

(0012)

(Embodiment) A more detailed description will now be made with reference to an embodiment of the invention. Fig. 2 is an oblique view showing an example of an

oscillating infrared sensor. The oscillating infrared sensor in this embodiment has a structure comprising infrared receptor 1, thermal insulation 2, 2', fixed frame 11, drive electrode 12, detection electrode 13, and substrate 14. The thin plate that is infrared receptor 1 is fixed to fixed frame 11 by thermal insulation 2, 2' having a low thermal conductance at both ends, and both infrared receptor 1 and thermal insulation 2,2' oscillate as a whole. In the following description infrared receptor 1 and thermal insulation 2,2' will be abbreviated and referred to as oscillator 15. By means of this configuration, infrared light is detected by detecting variations in the axial force as explained in Fig. 1.

(0013) Thermal capacity is kept small by ensuring that the thickness of infrared receptor 1 which absorbs infrared light 5 is thin and its width is narrow, and thermal resistance is kept high by ensuring that the thickness of thermal insulation 2,2' is thick and its width is narrow. By this means it is possible to realize an infrared sensor of high sensitivity and a rapid response.

(0014) In the embodiment of Fig. 2, a thin plate of silicon is used in infrared receptor 1 with boron being densely dispersed in this portion, ensuring a significant absorption of infrared light 5. Furthermore, a silicon oxide film is used on thermal insulation 2,2' with silicon and glass used respectively on fixed frame 11 and the substrate. The stress can be set by adjusting the combination of the p+ silicon which has a residual tensile stress and the silicon oxide film which has a residual compression stress, it being arranged that a light tensile stress is applied to the oscillator which comprises receptor 1 and insulation 2,2'. The materials and configurations referred to in the above embodiment are mere

illustrations, these factors being simply computational items, as the structure and material may be freely chosen so long as the oscillator absorbs infrared light and the mechanical oscillation characteristics vary.

(0015) In order to detect variations in the mechanical oscillation characteristics, it is necessary to measure the oscillation characteristics when the oscillator is oscillating. In the embodiment of Fig. 2 an electrostatic method is used to oscillate the oscillator and a capacitance detection method to detect the oscillation characteristics, but with the invention providing that the oscillator is oscillated using a method such as the piezoelectric drive method or the thermal drive method, and moreover providing that the oscillation can be detected using a method such as the piezo-resistance detection method or the optical detection method, a conventional method may be employed.

(0016) On one surface of substrate 14 in Fig. 2 is provided drive electrode 12 and detection electrode 13, the structure being such that the thin silicon plate of infrared receptor 1 itself is the opposite electrode. In the embodiment, the oscillator is made to oscillate using electrostatic attraction generated by an alternating voltage applied across drive electrode 12 and receptor 1, the oscillation characteristics being detected using the variation in the electrostatic capacitance between receptor 1 and detection electrode 13.

(0017) By having a structure such that the oscillator is formed on fixed framework 11 which has one end only fixed to substrate 14, it is arranged that the thermal stress arising from differences in coefficients of thermal expansion between substrate 14 and fixed frame 11 are not transmitted to the oscillator.

(0018) An oscillating infrared sensor of the invention is thus able to operate and run at room temperatures, the advantage of a thermal type infrared sensor, and is further characterized in having a sensitivity corresponding to that of a quantum type infrared sensor though its low thermal capacity as a sensor and greatly improved thermal/oscillation conversion rate.

(0019) Fig. 3 shows an example of an infrared imager in which a number of infrared sensors 16 of the type shown in Fig. 2 are arrayed on substrate 14. With an arrangement of this type a two-dimensional infrared imager with individual oscillating infrared sensors 16 as pixels is created, which can thus be employed as the light-receiving element in an infrared camera or the like. By using this device it is possible to create an infrared camera of high sensitivity that is cheap to produce.

(0020) Fig. 4 shows an embodiment of a device provided with the oscillating infrared sensor of the invention described in Fig. 2. The device of this example has a three-layer structure comprising upper glass substrate 17, silicon substrate 18 and lower glass substrate 19. Upper glass substrate 17 and lower glass substrate 19 are laid against silicon substrate 18 with oscillator 15 provided on silicon substrate 18 being hermetically sealed. Upper glass substrate 17 is provided with infrared incidence window 20 to allow the necessary amount of infrared light to be incident on oscillator 15 provided on silicon substrate 18. In the central part of the second layer, silicon substrate 18, is formed the oscillator 15 shown in the embodiment of Fig. 2 and upper electrode 21 for the parasitic capacitance compensating capacitance. Furthermore, current amplification circuit 22, temperature measurement diode 25 which compensates for temperature



drift in the sensor, MOS transistor gate terminal 26 of the current amplification circuit, MOS transistor drain terminal 27, MOS transistor substrate terminal 28, MOS transistor source terminal 29, oscillator drive electrode input terminal 30, and drive electrode input terminal 31 for the parasitic capacitance compensating capacitance are respectively formed as independent islands around the periphery of silicon substrate 18. Oscillator excitation electrode 12 and detection electrode 13, drive electrode 23 for the parasitic capacitance compensating capacitance and detection electrode 24 are formed in lower glass substrate 19 on the third layer, metal wiring being formed to connect up the elements of current amplification circuit 22 and MOS transistor gate terminal 26, MOS transistor drain terminal 27, MOS transistor substrate terminal 28, and MOS transistor source terminal 29. Lead wires for each terminal are threaded through the back side via a perforation formed in the glass.

(0021) The oscillator in this example employs the specific example described in Fig. 2 comprising silicon and silicon oxide film, being manufactured using selective etching technology employing a high boron diffusion layer. The manufacture of the triple-layered glass-silicon structure was done using anodic bonding technology which enables a hermetic seal.

(0022) Fig. 5 shows an electrical circuit diagram of an example of a system which integrates the infrared sensor shown in Fig. 4 with the current amplification circuit. Oscillator 15 and drive electrode 12, detection electrode 13 are created by integration on the same substrate as the current amplification circuit formed from diode 32 and MOS transistor 33. If a direct current is applied across oscillator 15 and detector electrode 13 when oscillator 15 is oscillating, a minute alternating current will be

generated which oscillates with the same frequency as that of the oscillation frequency on the detection electrode side due to changes in the capacitance across oscillator 15 and detection electrode 13. The current amplification circuit shown in Fig. 5 is a device for amplifying this minute current. By this means the output signal is amplified, and the influence of noise correspondingly reduced. A compensating capacitance comprising parasitic capacitance compensating capacitance upper electrode 21 and parasitic capacitance compensating capacitance detector electrode 24 having the same structure as the oscillator is formed on the substrate. This parasitic capacitance compensating capacitance has the same parasitic capacitance as the parasitic capacitance of the oscillator. When applied to the oscillator and the parasitic capacitance compensating capacitance via drive electrode 23, with application of a reverse phase alternating voltage it is possible to cancel out the current components generated by this parasitic capacitance, and thus to increase the output current correspondingly. 26, 27, 28, 29 in the figure are the terminals for the gate, drain, substrate and source of the MOS transistor, with 30 and 31 being the input terminals for the drive electrode for the oscillator and the parasitic capacitance compensating capacitance respectively.

(0023) Fig. 6 shows an example of the measurement circuit for the oscillating infrared sensor shown in Fig. 4. The infrared sensor integrated into the current amplification circuit in Fig. 5 is shown within the broken lines in Fig. 6. Thanks to the circuit structure in Fig. 6, the detection of the oscillation frequency can be detected. 41 is the input terminal for the current signal driving the oscillator, 42 an inversion amplifier, and 43 a non-inversion amplifier. By means of this input circuit and by applying to the

parasitic capacitance compensating capacitance an alternating voltage of the reverse phase to that input to the oscillator, the influence of the current flowing in the parasitic capacitance is cancelled out and drops away. 44 is a current and voltage converter, and has the function of amplifying these signals from the oscillator. 45 is the output terminal.

(0024) When detecting the infrared light 5 generated from the surface of a black body using the infrared sensor, as shown in Fig. 7 where infrared light with an energy of 10  $\mu\text{W}$  was input to the sensor, the variation in resonant frequency  $\Delta f$  was approximately 200 Hz. From this result a sensitivity of approximately 20 Hz was obtained per 1  $\mu\text{W}$  of input infrared energy. When the analytic power of the frequency detector is taken into consideration, this sensitivity is equivalent to that of a quantum infrared sensor, and shows the effect of the invention.

(0025)

(Effect of the Invention) As has been described in detail above, according to the oscillating infrared sensor, the oscillating infrared imager and the method of infrared detection of the invention, the following effects

- a) high sensitivity and rapid response
- b) ability to take measurements at room temperature
- c) pseudo-digital output allows simple interface with computer
- d) ability to create infrared imager by laying out multiple units in a plane

are obtained, thus enabling high-precision infrared detection in an extremely compact infrared sensor which allows the device to be substituted for conventional

devices in medical measurement, industrial measurement and the like.

(Detailed Description)

(Fig. 1) Schematic diagram illustrating the principle of the invention.

(Fig. 2) Oblique view of the diagram showing the basic structure of an embodiment of the oscillating infrared sensor of the invention.

(Fig. 3) Oblique view of an embodiment of the oscillating infrared imager of the invention.

(Fig. 4) Diagram showing the structure of an embodiment of the invention.

(Fig. 5) Example of an electric circuit for a system which integrates the embodiment of Fig. 4 with a current amplifier.

(Fig. 6) Example of the detection circuit which makes measurements using the embodiment in Fig. 5.

(Fig. 7) Example of the sensitivity characteristics of an infrared sensor of the invention.

(Key to Drawings)

- 1 infrared receptor
- 2,2' thermal insulation
- 3,3' fixings
- 4,4 axial force
- 5 infrared light
- 11 fixed frame
- 12 drive electrode for oscillator
- 13 detection electrode for oscillator

- 14 substrate
- 15 oscillator
- 16 infrared sensor
- 17 upper glass substrate
- 18 silicon substrate
- 19 lower glass substrate
- 20 infrared incidence window
- 21 upper electrode for the parasitic capacitance compensating capacitance
- 22 current amplification circuit
- 23 drive electrode for the parasitic capacitance compensating capacitance
- 24 detection electrode for the parasitic capacitance compensating capacitance
- 25 temperature compensating diode
- 26 MOS transistor gate terminal
- 27 MOS transistor drain terminal
- 28 MOS transistor substrate terminal
- 29 MOS transistor source terminal
- 30 input terminal for oscillator drive electrode
- 31 input terminal for the drive electrode for parasitic capacitance compensating capacitance
- 32 diode
- 33 MOS transistor
- 41 input terminal for the alternating current signal driving the oscillator
- 42 inversion amplifier
- 43 non-inversion amplifier
- 44 current/voltage converter
- 45 output terminal

Fig. 1

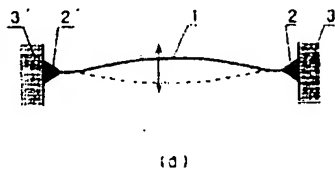


Fig. 2

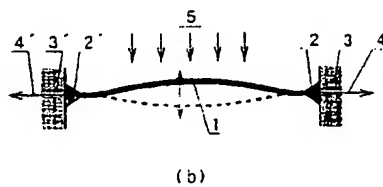
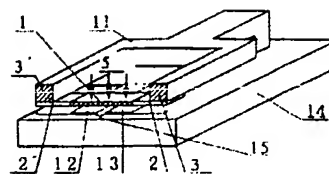


Fig. 4

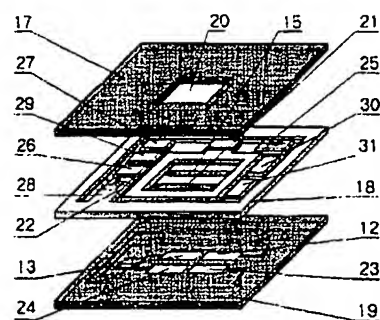


Fig. 3

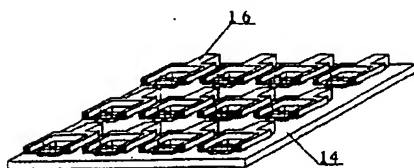


Fig. 5

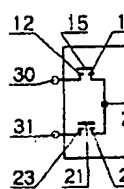
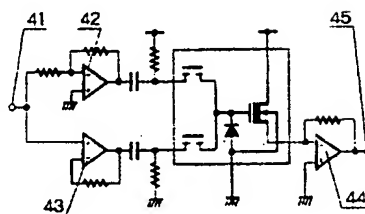


Fig. 6



**Fig. 7**

